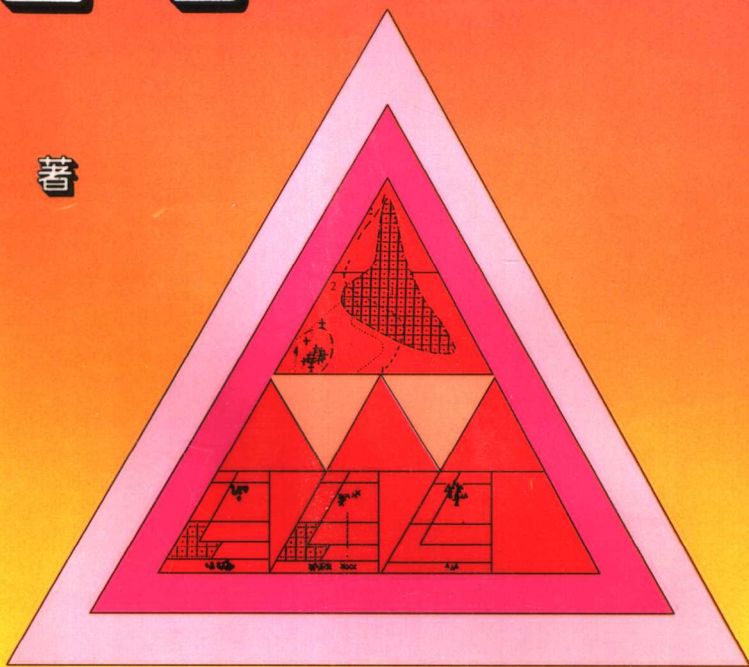


青藏高原北部 新生代板内 火山岩

邓万明 著



地质出版社

青藏高原北部 新生代板内火山岩

邓万明 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书作者根据多年来野外地质调查和实验室测试的大量资料,对青藏高原北部(包括北羌塘、可可西里山和昆仑山)地区的新生代板内火山岩带的区域地质、岩石特征、矿物化学、微量及稀土元素地球化学和同位素组成进行了系统总结和深入研究,探讨了火山活动的大地构造环境、岩浆源区的性质和成因,论述了火山作用与青藏高原新生代以来岩石圈构造演化和隆升的关系,为认识板内造山带的形成及青藏高原大陆动力学提供了丰富的成因岩石学信息。

本书可供地质科研、生产和地质院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原北部新生代板内火山岩/邓万明著.-北京:地质出版社,1998.12
ISBN 7-116-02620-7

I.青… II.邓… III.火山岩-研究-青藏高原-北部地区-新生代 IV.P534.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 16381 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王章俊 李胜荣 郭炳森

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:12.375 铜版图:3 页 字数:340 千字

1998 年 12 月北京第一版·1998 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:34.00 元

ISBN 7-116-02620-7
P·1912

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

青藏高原北部分布的新生代火山岩,就其出露面积之大,岩性、岩相之复杂及其对岩石圈演化过程的意义而言决不在我国东部大陆边缘中生代火山岩之下。但由于各种原因,诸如交通不便、地势高峻(海拔多在 5000 m 以上)、气候恶劣等,因而尽管 20 余年来青藏高原隆升机制及其对中亚、东亚环境的制约等已成为国内外地球科学研究的热门话题,发表了不少论文及专著。相形之下,对藏北新生代火山岩的研究却大大滞后了。这一近乎空白领域的存在在一定程度上拖了青藏地学研究的后腿。

此时此刻,邓万明同志的专著《青藏高原北部新生代板内火山岩》出版了,它充实了青藏研究的这一薄弱环节,无疑是值得欢迎的事。

邓万明同志涉足于藏北新生代火山岩区达 20 余载,通过对 6 条主干路线艰苦地野外观察,初步摸清了火山岩带的分布、产状、喷发类型等,划分了 5 个岩省和 30 个火山岩区。运用野外观察与同位素测年相结合的方法,为新生代火山活动给出了三个时期;对火山岩的区域地质学、岩石学、岩石化学、矿物化学、微量元素(包括稀土元素)及放射性同位素地球化学进行了大量的研究。以上述第一手调查、测试资料为基础,在高原壳幔相互作用及岩石圈演化的宏观背景下,作者还探讨了不同火山岩源区部分熔融与分异结晶等岩石成因问题。

这本专著体现了作者的工作思路,即宏观与微观结合、火山学与火山岩岩石结合、构造背景与岩相划分结合的总体构思。他将这种构思运用于藏北火山岩的研究,无疑是成功的。

作者列举了书中若干不足之处。作为藏北第一部新生代火山岩的著作,这是难免的,相信将在今后的研究中得到弥补。

涂光炽

1998 年 5 月 3 日

前言

号称“世界屋脊”的青藏高原,以其海拔高、面积大、形成晚、地壳厚和独特的自然景观为地球科学家所瞩目。全球板块构造理论自六七十年代兴起以来,给地球科学注入了新的活力。30余年来,青藏高原的形成和演化一直成为地学界所关注的热点,被视为研究造山带和大陆板块岩石圈发展模式最理想的天然实验室。

迄今,国内外有关青藏高原地质学、岩石学、大地构造学的著述很多,但大都偏重于高原的南部或东部,北部很少,尤其是北部关于火山岩区域性和专题性的研究成果尚属空白。近些年来,国内外的研究者发表了一些论文,对藏北一些地区的新生代火山岩做了许多工作。随着资料的积累和理论探讨的不断深入,有必要也有可能对整个藏北新生代火山带的成果进行初步的清理,以便在总体上和更高的层次上予以系统化。本书就是在许多热心人士的鼓励下对此进行的一种尝试。

藏北新生代火山岩带呈近东西向,分布于青藏北部的羌塘、昆仑山、可可西里山地区,一直受到地学界的极大重视。其主要原因是:第一,火山岩带产于独特的地理位置。西班牙、意大利、土耳其、伊朗和原苏联的中亚地区都断续有新生代的火山岩出露,向东通过藏北岩带后延到横断山地区和马来半岛,然后与环太平洋的现代火山活动带相接。因此,本研究区是横贯欧亚大陆的特提斯造山带中巨大的板内火山岩带的组成部分。第二,火山岩的形成时代差不多贯穿了整个新生代。这个时期正是亚洲大陆内部岩石圈发生剧烈变形、青藏高原强烈隆起以及中亚自然环境发生大变革的时期,也可以说是影响全球变化的关键时期。那么,火山岩的形成在这些重大的事件中扮演了什么角色,很值得探讨。第三,人们普遍关心火山活动与资源和环境的关系,比如矿产、地热能源的评价和开发前景、近代的构造活动性特征(地震、火山爆发)和地质灾害的防治等。

人们最早是从保存很清晰的火山地貌形态开始,逐渐认识藏北火山岩带的。但长期以来,对其真实面目一直缺乏了解。随着现今航空航天科技的迅猛发展,已能够从航片和卫片中应用计算机判别出火山岩区的准确位置、分布面积及火山机构的形态等特征,从而扩展了人们的视野。也正是在这些新技术方法应用之后,更加激发了地球科学家对该区火山岩的浓厚兴趣。然而,恶劣的自然地理条件、高寒缺氧和交通的异常困难又成为实地考察的严重障碍。许多人,尤其是国外的学者不得不望“片”兴叹!所以这个地区至今仍是地球上研究最差的地区之一。

藏北无人区在藏语中叫“羌冬门梅龙东”,亦译作“羌塘”,意指“北部空地”。高原面的平均海拔为4800m,是“世界屋脊”上一块相对闭塞的高地。北面昆仑山的主峰一般都在6500~7000m。该区气候变幻莫测,终年冰封雪冻,有“生命禁区”之称。

早在100年以前,已有个别的外国探险者涉足本区。1891年,W. W. Rockhill自青海入藏,他越过唐古拉山后折向东行,最后到达巴塘。此人虽不是专习地质,但他沿途采集岩石和化石标本,有路线的描述。这是已知藏北地质调查最早一例。继后,在1888~1890年间,俄

国沙皇曾派以 M. B. 别尔佐夫(Бельцов)为首的考察队活动于 84°E 以西的昆仑山地区,最南未超过 35°N (现在的西藏阿里北部)。其中,有一位地质学家 K. E. 波格丹诺维奇(Богданович),他主要的考察对象是金矿和软玉,曾在三个地点采集了 4 块产状不明的火山岩标本;后来由加贝也娃(Гапеева, 1955)研究发表。

在文献中第一次出现火山的记录是在 1892 年。波瓦洛特随一个探险队在西昆仑山旅行和打猎。他在文章中描述了沿途见闻,其中谈到在海拔 7000m(不确切)高的藏北高原存在锥状的斯通博里式火山,所载地名无法查考。所述及的火山锥,除有清晰的外形外,在锥顶的凹地填满了新鲜的黑色熔岩。1896 年, G. R. Littedale 从南疆且未出发,翻越昆仑山(可能是阿尔金山),在喀拉木伦山口附近见到 4 个火山,位置在 $86^{\circ}\sim 87^{\circ}\text{E}$, $36^{\circ}30'\text{N}$ 之间。他认为这些死火山完全被雪和冰块埋住,无法看到它们的全貌。

再后来,就是近代的大探险家瑞典的斯文·赫定(Sven Hedin)。他在 1899 年至 1908 年 9 年间共计入藏三次,完成了西藏南部、羌塘高原四条路线的探险和考察。他本人虽不是地质学家,但他沿途广泛采集岩石样品,绘制路线图。这些材料,后来经 H. Bachstrom 和 H. Johansson 研究鉴定,发表于《中央亚细亚》(Central Asia)第六卷和《南部西藏》(Southern Tibet)第五卷。赫定在东经 $85^{\circ}\sim 90^{\circ}30'$ 之间发现了年轻的火山岩露头,被定名为凝灰岩。这些岩石呈水平状产于不高的锥形山的上部,下部覆盖着砂岩、泥岩。他在 $87^{\circ}30'\text{E}$, $35^{\circ}10'\text{N}$ 采集了两块火山岩标本,经 H. Bachstrom 鉴定为古铜辉石安山岩。

1913 年,德国动物学家 Leuchs 和 Zugmayer 进入了现在的阿什库勒盆地,并在克里雅河源头见到了 5 个明显的火山锥及一些次火山口、火山渣锥,还提到了两个火山壅塞湖。熔岩是黑色的,并带有气孔。这些岩石产于古老湖相沉积物之上。

关于西藏西北部年轻火山岩最详细的著作是 Norin(1946)的报告。他于 1931 年至 1935 年在现今的西藏阿里地区北部进行了考察,对 $35^{\circ}30'\text{N}$, $82^{\circ}48'\text{E}$ 附近的年轻火山岩进行了研究。Norin 的工作在以下几方面是很有特色的:第一,他描述了 5 块标本,其中两块是普通辉石安粗岩,一块是紫苏辉石安粗岩,一块是橄沸粗玄岩,一块是假白榴石正长辉石岩。现在看来,他的鉴定都是正确的。第二,他第一个发现这些火山岩中碱组分,尤其是钾含量很高。他当时的分析资料与我们的分析结果都能对比(邓万明, 1978)。第三,他首先指出火山岩在西藏西北部和昆仑山山前呈一宽的带状分布,区内熔岩流厚达数百米,在地貌上为熔岩台地、圆顶山及锥状山等。他详细描述了几个火山锥体的特征。Norin 的著作在本区早期的地质文献中占有极其重要的地位,至今仍具有很高的学术价值。

1950 年,我国地质学家王恒升由于田南行,据说到达了阿什库勒火山群。他定火山岩为安山岩。西尼村(1954)认为,昆仑山的火山活动与新构造运动有关。直到六七十年代,本区的地质工作基本上处于停滞状态。在此之后才陆续完成了改则幅、日土幅、南疆以及青海一些地区小比例尺的地质填图。在这些报告中,记载了许多鲜为人知的火山活动新资料。进入 80 年代以后,青藏高原的地质研究有了突飞猛进的发展。大批的研究成果不断地涌现出来,这与广泛的国际合作的开展有很大的关系。可以说,在最近的 10 多年,无论是在调查研究的广度上,还是在理论探讨的深度上,是过去 100 年所无法比拟的。

作者对青藏高原的研究开始于 1973 年。但第一次接触新生代火山岩是在 1976 年夏,即由班戈向北横穿羌塘腹地进行考察,最后到达了昆仑山主脊线的喀拉木伦山口。这是我国科学工作者首次进入该地区的大规模综合考察。当我们在巴毛穷宗第一次看到了那么漂亮的

火山口和熔岩流时,置身于涌波湖、振泉湖和羌巴欠如此壮观的火山景观之中,心情无比激动,至今记忆犹新。在最近的10年里又5次穿越昆仑山、可可西里山,进入了羌塘无人区。1989年和1994年的两次是分别与法国和日本地质学家的联合考察。本书就是在长期野外考察和多年室内研究的基础上,对藏北新生代火山岩带研究的初步小结。在书中尽量搜集了前人研究的最新成果,系统地介绍了研究区火山岩的特征,并初步探讨了火山岩的成因及火山活动与青藏高原新生代岩石圈构造演化的关系。全书共分10章,其中第九章得到了许荣华研究员的帮助。

作者诚挚地感谢在多年科考中与之患难与共,并在本书的写作过程中给予帮助的考察队员们。他们是孙鸿烈院士、郑度研究员、常承法研究员、潘裕生研究员、许荣华研究员、尹集祥研究员、金成伟研究员、周云生研究员、王东安研究员、边千韬博士、郑锡澜研究员、文世宣研究员、孙东立研究员、张玉泉研究员、梅厚均研究员、张知非研究员、李炳元研究员、张青松研究员、林振耀研究员、滕吉文研究员等。

英国地质学家 R. M. Shackleton 教授、J. Pearce 博士和瑞士 A. Gansser 教授等曾参加了1985年的路线考察;法国朋友 N. O. Arnaud、Ph. Vedal、P. Tapponnier 和日本松本征夫教授等曾分别参加了1989年、1994年的野外工作,参与了多次有益的讨论,并协助完成了一部分样品的分析。美国加州大学洛杉矶分校地球与空间科学系的 Kari M. Cooper 女士协助完成了一些同位素样品的复测。

在多年的工作中,还得到吴利仁研究员、钟大赉研究员、鄂莫岚研究员、从柏林研究员、叶大年院士、李继亮研究员、刘若新研究员、佟伟教授、刘如曦教授、莫宜学教授、邓晋福教授、路凤香教授、孙善平教授等许多老师的热心帮助。

作者真诚地感谢已故张文佑所长和地学界老前辈刘东生先生、叶连俊先生、涂光炽先生、施雅风先生、李廷栋先生对作者的一贯指导和关心。

中国科学院地质所别婉琳、李家驹、阎欣、张海政、徐平、韩秀伶、乔广生、潘均等为本书承担了大量分析测试任务。照相组桂文立和张亚光高工承担了照片的冲印。孙宏娟同学参加了总结的收尾工作。承蒙吴利仁研究员仔细审阅了原稿。涂光炽院士在百忙中为本书作序。作者向上述诸位表示深切的谢意。

本项研究,多年来曾得到中国科学院、国家自然科学基金委员会和中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究室的资助,谨致以诚挚的感谢。

作 者

1998年3月于北京

目 录

序

前 言

第一章 青藏高原的板块构造体系	(1)
第一节 青藏高原大地构造单元的划分	(1)
第二节 青藏高原诸块体的地质演化	(2)
一、中朝板块	(2)
二、柴达木-塔里木板块	(2)
三、扬子-巴颜喀拉板块	(2)
四、羌塘-冈念复合板块	(3)
五、印度板块	(4)
第三节 青藏高原主要的岩浆岩带及其成因	(4)
一、岩浆岩带的划分和岩浆活动的基本规律	(4)
二、产于洋盆扩张边界的岩浆岩带(即蛇绿岩带)	(5)
三、产于活动大陆边缘、与板块消减-碰撞有关的岩浆岩带	(5)
四、产于板内环境的岩浆岩带	(7)
第四节 青藏高原的主要缝合带及特提斯的性质	(8)
一、北祁连缝合带	(8)
二、昆仑缝合带	(8)
三、可可西里山-金沙江缝合带	(9)
四、甘孜-理塘和澜沧江缝合带	(9)
五、班公湖-怒江缝合带	(10)
六、印度河-雅鲁藏布缝合带	(11)
七、关于特提斯古地理重建的问题	(12)
第二章 青藏高原的深部构造和新构造运动	(14)
第一节 青藏高原的地球物理场特征及岩石圈结构	(14)
一、重力场特征	(14)
二、地震波速度和岩石圈层状结构	(14)
三、青藏岩石圈层状结构的主要特征	(15)
第二节 青藏高原的新构造运动	(15)
一、喜马拉雅造山运动的分期与“青藏运动”	(15)
二、近代地壳活动性特征	(16)
第三章 新生代火山岩带的区域地质	(19)
第一节 火山岩的分布	(19)
一、概述	(19)

二、火山岩带的地质位置	(19)
三、火山岩亚带、岩省和岩区的划分	(21)
第二节 火山岩的产状与喷发类型	(21)
一、火山岩的产状	(21)
二、火山喷发的类型	(22)
第三节 火山岩的时代	(23)
一、火山岩同位素年龄	(23)
二、各个火山岩省的年龄谱	(23)
三、火山岩的分布面积	(25)
四、火山活动的时空基本规律	(26)
第四章 火山岩区地质各论	(27)
第一节 西羌塘岩省火山区地质	(27)
一、概述	(27)
二、岩区火山地质	(27)
第二节 北羌塘岩省火山区地质	(29)
一、概述	(29)
二、岩区火山地质	(29)
第三节 可可西里岩省火山区地质	(31)
一、概述	(31)
二、岩区火山地质	(31)
第四节 中昆仑岩省火山区地质	(33)
一、概述	(33)
二、岩区火山地质	(34)
第五节 西昆仑岩省火山区地质	(35)
一、概述	(35)
二、岩区火山地质	(35)
第五章 火山岩的岩石学	(41)
第一节 火山岩的岩相分类	(41)
一、火山熔岩	(41)
二、火山碎屑岩类	(41)
三、次火山岩类	(41)
第二节 主要火山岩类型的岩相特征	(42)
一、火山熔岩类	(42)
二、火山碎屑岩类	(46)
三、次火山岩类	(47)
第三节 火山岩岩石学的区域特征与对比	(48)
一、各岩省岩石类型的组成	(48)
二、火山岩类型与时、空关系	(49)
第六章 矿物化学	(50)

第一节 主要造岩矿物	(50)
一、橄榄石类	(50)
二、辉石类	(52)
三、角闪石类	(64)
四、长石类	(68)
第二节 次要造岩矿物和副矿物	(74)
一、黑云母类	(74)
二、白榴石、霞石和沸石类	(74)
三、磷灰石类	(79)
第三节 区域变质矿物	(81)
一、尖晶石类	(81)
二、石榴石类	(82)
第七章 岩石化学	(86)
第一节 火山岩的化学分类和命名	(86)
一、西羌塘岩省	(86)
二、北羌塘岩省	(107)
三、可可西里岩省	(107)
四、中昆仑岩省	(107)
五、西昆仑岩省	(108)
第二节 主要化学成分及标准矿物的特征	(108)
一、西羌塘岩省	(108)
二、北羌塘岩省	(109)
三、可可西里岩省	(109)
四、中昆仑岩省	(110)
五、西昆仑岩省	(110)
第三节 火山岩共生组合系列的判别	(111)
一、西羌塘岩省	(111)
二、北羌塘岩省	(111)
三、可可西里岩省	(111)
四、中昆仑岩省	(112)
五、西昆仑岩省	(112)
第四节 火山岩形成环境的初步鉴别	(112)
一、西羌塘岩省	(112)
二、北羌塘岩省	(113)
三、可可西里岩省	(113)
四、中昆仑岩省	(113)
五、西昆仑岩省	(113)
六、小结	(113)
第八章 稀土和微量元素地球化学	(114)

第一节 稀土元素的丰度和组成	(114)
一、西羌塘岩省	(114)
二、北羌塘岩省	(116)
三、可可西里岩省	(116)
四、中昆仑岩省	(116)
五、西昆仑岩省	(122)
第二节 稀土元素的分配型式	(122)
一、各岩省火山岩的球粒陨石标准化分配型式	(122)
二、不同岩石类型的稀土元素分配型式	(124)
第三节 微量元素地球化学	(125)
一、各岩省火山岩的微量元素组成和地球化学模式	(125)
二、主要岩石类型的微量元素特征及地球化学模式	(131)
三、成岩作用与形成环境的微量元素判别	(136)
四、小结	(137)
第九章 同位素地球化学	(139)
第一节 Sr-Nd 同位素体系	(139)
一、Sr 同位素的测试结果和基本特征	(139)
二、Nd 同位素的测试结果和基本特征	(142)
三、Sr-Nd 同位素组成的关系	(143)
第二节 Pb 同位素	(144)
一、铅同位素的测试结果及基本特征	(144)
二、铅同位素的组成与源区性质	(145)
三、小结	(146)
第十章 火山岩岩石成因探讨(兼论火山活动与岩石圈构造演化的关系)	(148)
第一节 藏北火山岩带成因岩石学研究的进展和现状	(148)
一、我国地质工作者的主要成果	(148)
二、国外合作者的基本观点	(149)
三、火山岩成因的几个基本问题	(150)
第二节 火山岩形成的大地构造环境	(151)
一、大陆碰撞与陆内俯冲带	(151)
二、西羌塘火山活动与板内地幔热柱的关系	(152)
三、北羌塘初始板内裂谷与碱性火山岩的成因	(153)
四、昆仑造山带火山活动的构造背景	(154)
第三节 火山岩的源区特征及其物质组成	(155)
一、研究区与世界钾质火山岩区的对比	(155)
二、青藏高原及滇西壳-幔过渡带的特征	(155)
三、关于“壳-幔混合层”的形成机制和壳-幔混合作用的探讨	(157)
四、源区物质组成的模拟计算	(158)
第四节 板内火山活动与岩石圈演化及高原隆升的关系	(159)

一、青藏高原岩石圈缩短和加厚的机制	(159)
二、关于岩石圈地幔的拆沉构造和高原隆升的动力学模型	(160)
三、火山活动的构造控制	(161)
四、青藏高原是否存在近代的火山活动	(162)
结束语	(166)
参考文献	(169)
英文摘要	(175)
图版及图版说明	(179)

CENOZOIC INTRAPLATE VOLCANIC ROCKS IN THE NORTHERN QINGHAI-XIZANG PLATEAU

CONTENTS

Preface

Introduction

Chapter 1 Plate Tectonic System of the Qinghai-Xizang Plateau	(1)
1.1 Tectonic framework of the Qinghai-Xizang Plateau	(1)
1.2 Geological evolution of the blocks	(2)
1.2.1 Sino-Korea block	(2)
1.2.2 Caidam-Tarim block	(2)
1.2.3 Yangtze-Bayankala block	(2)
1.2.4 Qingtang-Gangdise-Nyainqentanglha multiple block	(3)
1.2.5 Indian block	(4)
1.3 Main magmatic belts and origin of the Qinghai-Xizang Plateau	(4)
1.3.1 Dividing of the magmatic belts and basic regularity of magmatic activity	(4)
1.3.2 Magmatic belts formed at the oceanic spreading boundary	(5)
1.3.3 Magmatic belts formed in the active continental margin and related to subduction and collision of the plates	(5)
1.3.4 Magmatic belts formed in the intraplate setting	(7)
1.4 Main plate suture zone and the Tethysan nature of the Qinghai-Xizang Plateau	(8)
1.4.1 Northern Qilian suture zone	(8)
1.4.2 Kunlun suture zone	(8)
1.4.3 Hoh xil-Jinshajiang suture zone	(9)
1.4.4 Ganzi-Litang and Lanchangjiang suture zone	(9)
1.4.5 Bangong Hu-Nujiang suture zone	(10)
1.4.6 India river-Yarlung Zangbo suture zone	(11)
1.4.7 About paleogeographical reconstruction of the Tethys	(12)
Chapter 2 Deep Structure and Neotectonics of the Qinghai-Xizang Plateau	(14)
2.1 Geophysical characteristics and the lithosphere structure	(14)
2.1.1 Gravity	(14)
2.1.2 Lithosphere layers	(14)
2.1.3 Basic features of lithosphere	(15)
2.2 Neotectonics	(15)

2.2.1	Stages of the Himalayan orogeny and "Qinghai-Xizang movement"	(15)
2.2.2	Recent crustal activity	(16)
Chapter 3	Regional Geology of Cenozoic Volcanic Belt	(19)
3.1	Distribution of the volcanic rocks	(19)
3.1.1	Introduction	(19)
3.1.2	Geological setting of volcanic rocks	(19)
3.1.3	Dividing of subbelts, rock provinces and rock districts	(21)
3.2	Mode of occurrences and eruptive types of volcanic rocks	(21)
3.2.1	Mode of occurrences	(21)
3.2.2	Eruptive types	(22)
3.3	Age of volcanic rocks	(23)
3.3.1	Isotopic dating of volcanic rocks	(23)
3.3.2	Age genealogy of volcanic provinces	(23)
3.3.3	Distribution acerage of volcanic rocks of different ages and provinces	(25)
3.3.4	Basic time-space regularity of volcanic activity	(26)
Chapter 4	Geology of the volcanic districts	(27)
4.1	Western Qiangtang province	(27)
4.1.1	Introduction	(27)
4.1.2	Geology of rock districts	(27)
4.2	Northern Qiangtang province	(29)
4.2.1	Introduction	(29)
4.2.2	Geology of rock districts	(29)
4.3	Hoh Xil province	(31)
4.3.1	Introduction	(31)
4.3.2	Geology of rock districts	(31)
4.4	Middle Kunlun province	(33)
4.4.1	Introduction	(33)
4.4.2	Geology of rock districts	(34)
4.5	Western Kunlun province	(35)
4.5.1	Introduction	(35)
4.5.2	Geology of rock districts	(35)
Chapter 5	Petrography of volcanic rocks	(41)
5.1	Petrographical classification	(41)
5.1.1	Volcanic lavas	(41)
5.1.2	Volcanic pyroclastic rocks	(41)
5.1.3	Subvolcanic rocks	(41)
5.2	Petrographical characteristics of main types	(42)
5.2.1	Volcanic lavas	(42)

5.2.2	Volcanic pyroclastic rocks	(46)
5.2.3	Subvolcanic rocks	(47)
5.3	Regional variation and comparison	(48)
5.3.1	Rock types in every provinces	(48)
5.3.2	Time space relationship of rock types	(49)
Chapter 6	Mineral Chemistry	(50)
6.1	Major rock-forming minerals	(50)
6.1.1	Olivine	(50)
6.1.2	Pyroxene	(52)
6.1.3	Hornblende	(64)
6.1.4	Feldspar	(68)
6.2	Secondary rock-forming minerals and accessory minerals	(74)
6.2.1	Mica	(74)
6.2.2	Leucite, nepheline and zeolite	(74)
6.2.3	Apatite	(79)
6.3	Regional metamorphic minerals	(81)
6.3.1	Spinel	(81)
6.3.2	Garnet	(82)
Chapter 7	Petrochemistry	(86)
7.1	Chemical classification of volcanic rocks and nomenclature of volcanic rocks	(86)
7.1.1	Western Qiangtang province	(86)
7.1.2	Northern Qiangtang province	(107)
7.1.3	Hoh Xil province	(107)
7.1.4	Middle Kunlun province	(107)
7.1.5	Western Kunlun province	(108)
7.2	Major element chemistry and CIPW norms	(108)
7.2.1	Western Qiangtang province	(108)
7.2.2	Northern Qiangtang province	(109)
7.2.3	Hoh Xil province	(109)
7.2.4	Middle Kunlun province	(110)
7.2.5	Western Kunlun province	(110)
7.3	Petrochemistry Series	(111)
7.3.1	Western Qiangtang province	(111)
7.3.2	Northern Qiangtang province	(111)
7.3.3	Hoh Xil province	(111)
7.3.4	Middle Kunlun province	(112)
7.3.5	Western Kunlun province	(112)
7.4	Determination of eruptive tectonic environment of volcanic rocks by	

major elements	(112)
7. 4. 1 Western Qiangtang province	(112)
7. 4. 2 Northern Qiangtang province	(113)
7. 4. 3 Hoh Xil province	(113)
7. 4. 4 Middle Kunlun province	(113)
7. 4. 5 Western Kunlun province	(113)
7. 4. 6 Conclusion	(113)
Chapter 8 Rare earth and trace element geochemistry	(114)
8. 1 Abundance of REE	(114)
8. 1. 1 Western Qiangtang province	(114)
8. 1. 2 Northern Qiangtang province	(116)
8. 1. 3 Hoh Xil province	(116)
8. 1. 4 Middle Kunlun province	(116)
8. 1. 5 Western Kunlun province	(122)
8. 2 Distribution patterns of REE	(122)
8. 2. 1 Chondrite-normalized REE distribution patterns of every provinces	(122)
8. 2. 2 REE distribution patterns of different rock types	(124)
8. 3 Trace element geochemistry	(125)
8. 3. 1 Trace element abundance and geochemical patterns of volcanic rocks in every provinces	(125)
8. 3. 2 Trace element abundance and geochemical patterns of different rock types	(131)
8. 3. 3 Determination of eruptive environment of volcanic rocks by trace elements	(136)
8. 3. 4 Conclusion	(137)
Chapter 9 Isotope Geochemistry	(139)
9. 1 Sr-Nd isotopic system	(139)
9. 1. 1 Analytical result and main characteristics of Sr isotope	(139)
9. 1. 2 Analytical result and main characteristics of Nd isotope	(142)
9. 1. 3 Relationship of Sr-Nd isotopes	(143)
9. 2 Pb isotope	(144)
9. 2. 1 Analytical result and main characteristics of Pb isotope	(144)
9. 2. 2 Pb isotopic component and source features	(145)
9. 2. 3 Conclusion	(146)
Chapter 10 Approach to petrogenesis of volcanic rocks with a discussion on the relation between Cenozoic volcanic activity and lithosphere tectonic evolution	(148)
10. 1 Study progress and current situation of petrogenesis	(148)
10. 1. 1 Main results of the Chinese geologists	(148)

10.1.2	Basic viewpoints of the abroad colleagues	(149)
10.1.3	Some important problems about petrogenesis	(150)
10.2	Tectonic environment of volcanic eruption	(151)
10.2.1	Continent-continent collision and intraplate subduction zones	(151)
10.2.2	Relationship between volcanic activity in the Western Qiangtang province and intraplate mantle thermal plume	(152)
10.2.3	An initial intraplate rifting and origin of alkaline lavas in the Northern Qiangtang province	(153)
10.2.4	Tectonic condition of post-collision volcanic activity of Kunlun orogeny	(154)
10.3	Source and composition	(155)
10.3.1	Comparison with some potassic volcanic districts in the World	(155)
10.3.2	Characteristics of the "crust-mantle transitional zone" of the Qing- hai-Xizang plateau and the western Yunnan	(155)
10.3.3	Forming mechanism of the "crust-mantle mixed layer" and interact- ion between both continental crust and mantle	(157)
10.3.4	Model calculation of the composition of the magmatic source	(158)
10.4	Relationship of intraplate volcanic activity with lithosphere tectonic evolution and uplift of the Qinghai-Xizang plateau	(159)
10.4.1	Geodynamics for the lithosphere shortening and thickening of the Qinghai-Xizang plateau	(159)
10.4.2	About "delamination" of the lithosphere mantle and the dynamic model for Qinghai-Xizang uplifting	(160)
10.4.3	Structural control of the volcanic activity	(161)
10.4.4	Whether recent volcanic eruption happened	(162)
Summary		(166)
References		(169)
English abstract		(175)
Plates and explanation		(179)